

補助事業番号 2017M-136
補助事業名 平成29年度 低速高トルク用途向けリラクタンس型磁気浮上回転機の実用化
に向けた構造最適化の検討 補助事業
補助事業者名 東京都市大学・講師・土方規実雄

1 研究の概要

本研究課題では、構造的に低速高トルク駆動に適するバーニアモータに着目し、これと磁気浮上の機能を持つベアリングレスモータを組み合わせた磁気浮上回転機の開発を実施した。高トルクの発生と大きな浮上力を両立する構造として、リラクタンス型構造を提案し、三次元有限要素法解析によって実用の可能性を示した。提案モータの実機を製作し、実機試験によって安定した浮上力と高トルクの発生を確認した。今後も引き続き実機試験を行い、トルクリプル等の詳細な性能を明らかにしていく。

2 研究の目的と背景

一般的にモータをはじめとする回転体の支持にはベアリングが利用されるが、ベアリングが不得手とする用途として、(1)一定角度の揺動運動、(2)低温・低気圧環境下での使用、等がある。前者は、モータを使用したアクチュエータで往復運動をする場合に現れる問題であり、一定角度の往復回転運動によって潤滑油が掃き出されてベアリングの早期摩耗が発生してしまう。後者は、ベアリングやギアなどが低温・低気圧下（航空・宇宙用途など）で使用されることで、その潤滑油がうまく機能しない、もしくは早期に揮発してしまう問題である。こうした問題への一つの解決策として、ベアリングレスモータなどの磁気浮上回転機の使用が考えられる。磁気浮上による非接触駆動により、潤滑や摩耗の問題を解決することができる。しかしながら、こうした従来の磁気浮上回転機の大きな欠点として、ギヤに代表される機械的な減速機構を使用できないといった問題がある。減速機構での機械的接触により磁気浮上の利点が殺されてしまうためである。

3 研究内容

(1) 低速高トルク用途向け磁気浮上回転機の開発の開(<http://www.eml.mse.tcu.ac.jp/>)

そこで本補助事業では、非接触の減速機構である磁気ギアや、構造的に低速高トルク駆動に適するバーニアモータに着目し、これらと磁気浮上の機能を持つベアリングレスモータを組み合わせた磁気浮上回転機の開発を実施した。具体的には、期間内に下記の項目を実施した。

1. 磁気浮上機構と非接触減速機構を統合した新しい電動機構造の提案、
2. 三次元有限要素法解析を用いた試作機的设计・製作
3. 製作した試作機を用いた実機試験と試作機性能の評価

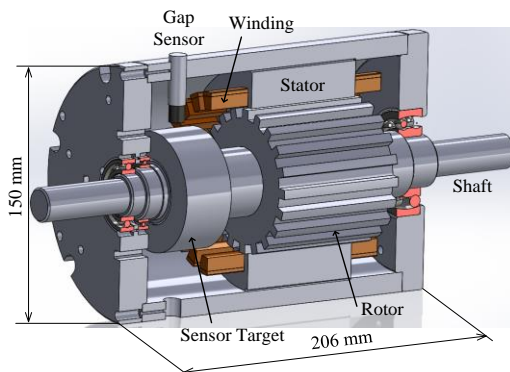


図1 提案モータ構造のモデル

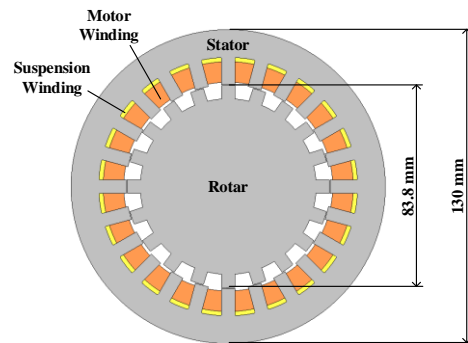


図2 固定子および回転子の形状



図3 製作したモータ試作機（外見）



図4 製作したモータ試作機（内部）

4 本研究が実社会にどう活かされるかー展望

提案する低速高トルク磁気浮上回転機は、従来の磁気浮上回転機が不得手としていた低速高トルク用途への磁気浮上技術の適用を狙うものである。磁気浮上技術の適用により摩擦・摩擦がなく軸受の潤滑が不要であるために、摩擦粉や潤滑油をきらう高洗浄度環境や、潤滑油の揮発が問題となる高真空環境での使用に適する。想定される産業応用分野としては、真空チャンバ内で使用されるステージ駆動用アクチュエータや、食品・医療および半導体製造などの高い洗浄度が要求される分野で使用されるアクチュエータなどが挙げられる。これらの用途に磁気浮上技術を適用し、非接触・無潤滑のアクチュエータを実現することができれば、その性能を大きく改善できる可能性がある。例えば、産業用ロボットアーム、医療用の遠隔操作型精密ロボットアーム、パワードスーツなどに適用した場合、上記の問題を解決するのみならず、ギアのバックラッシュなどの非線形要素の排除により、高精度・高性能な制御を実現することができる。航空・宇宙用途向けのアクチュエータに適用した場合、メンテナンスの手間が削減されるため、特に宇宙機の場合にはライフタイムを増加させることが可

能となる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

平成19年から現在まで、特に、高速回転が必要なアプリケーションへのベアリングレスモータ適用に関する研究を行ってきた。現在では高速駆動に関する研究と並行して、その対極である低速高トルク用途へのベアリングレスモータ適用の可能性を模索している。

本補助事業で提案する、ベアリングレスバーニアモータは、磁気浮上による完全非接触浮上と低速高トルク駆動を両立するモータである。今回の研究によりその基礎特性が明らかになるとともに、実用の可能性を確認することができた。今後は、企業との共同研究も視野に、産業応用を目指したい。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

【発表論文等】

- (1) 関田啓悟, 土方規実雄, 田中康寛, :「リラクタンس型ベアリングレスバーニアモータのトルクと軸支持力」, 第31回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム予稿集, 2019年5月, 東京
- (2) 関田啓悟, 南香夏子, 土方規実雄, 田中康寛, :「リラクタンス型ベアリングレスバーニアモータのトルクと軸支持力の評価」, 平成31年電気学会全国大会講演論文集, pp. 316, 2019年3月, 札幌
- (3) 多田夏実, 南香夏子, 土方規実雄, 田中康寛, :「リラクタンス型ベアリングレスバーニアモータのトルク測定」, 平成30年電気学会産業応用部門大会講演論文集, pp. 21, 2018年8月
- (4) 多田夏実, 南香夏子, 土方規実雄, 田中康寛, :「コンシクエントポール型とリラクタンス型のベアリングレスバーニアモータの比較」, 平成30年電気学会全国大会講演論文集, pp. 316, 2018年3月
- (5) Takahiro Sekine, Kimio Hijikata, Yasuhiro Tanaka, : “Investigation of Torque and Suspension Force Characteristic in a Reluctance Type Bearingless Vernier Motor” , IEEE International Electric Machines and Drives Conference, May 2017, Miami, FL, USA
- (6) 関根隆弘, 土方規実雄, 田中康寛, :「リラクタンス型ベアリングレスバーニアモータにおける電動機および軸支持巻線極数の組み合わせの検討」, 平成28年電気学会産業応用部門大会講演論文集, Vol. Y, pp. 131, 2016年8月
- (7) 関根隆弘, 土方規実雄, 田中康寛 :「リラクタンス型ベアリングレスバーニアモータの提案」, 第28回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム予稿集, No. 16-13, pp. No. 16-13, 2016年5月

- (8) 関根隆弘, 中尾正裕, 土方規実雄, 田中康寛, :「リラクタンس型ベアリングレスバーニアモータの提案」, 平成28年電気学会全国大会講演論文集, Vol. 5, pp. 140, 2016年3月

【学会発表】

- (9) 関田啓悟, 土方規実雄, 田中康寛, :「リラクタンス型ベアリングレスバーニアモータのトルクと軸支持力」, 第31回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム, 2019年5月, 東京
- (10) 関田啓悟, 南香夏子, 土方規実雄, 田中康寛, :「リラクタンス型ベアリングレスバーニアモータのトルクと軸支持力の評価」, 平成31年電気学会全国大会, 2019年3月, 札幌
- (11) 多田夏実, 南香夏子, 土方規実雄, 田中康寛, :「リラクタンス型ベアリングレスバーニアモータのトルク測定」, 平成30年電気学会産業応用部門大会, 2018年8月, 横浜
- (12) 多田夏実, 南香夏子, 土方規実雄, 田中康寛, :「コンシクエントポール型とリラクタンス型のベアリングレスバーニアモータの比較」, 平成30年電気学会全国大会, 2018年3月, 福岡
- (13) Takahiro Sekine, Kimio Hijikata, Yasuhiro Tanaka, : “Investigation of Torque and Suspension Force Characteristic in a Reluctance Type Bearingless Vernier Motor”, IEEE International Electric Machines and Drives Conference, May 2017, Miami, FL, USA
- (14) 関根隆弘, 土方規実雄, 田中康寛, :「リラクタンス型ベアリングレスバーニアモータにおける電動機および軸支持巻線極数の組み合わせの検討」, 平成28年電気学会産業応用部門大会, 2016年8月, 群馬
- (15) 関根隆弘, 土方規実雄, 田中康寛, :「リラクタンス型ベアリングレスバーニアモータの提案」, 第28回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム, 2016年5月, 横浜
- (16) 関根隆弘, 中尾正裕, 土方規実雄, 田中康寛, :「リラクタンス型ベアリングレスバーニアモータの提案」, 平成28年電気学会全国大会, 2016年3月, 仙台

7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの

研究紹介パンフレット (<http://www.eml.mse.tcu.ac.jp/img/group/motor.pdf>)

計測電機制御研究室 モータ班 研究紹介



ベアリングレスモータとは

Bearing + less + motor

ベアリング（軸受）がないモータ

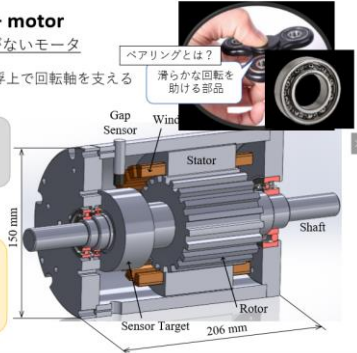
ベアリングの代わりに磁気浮上で回転軸を支える

ベアリングの欠点

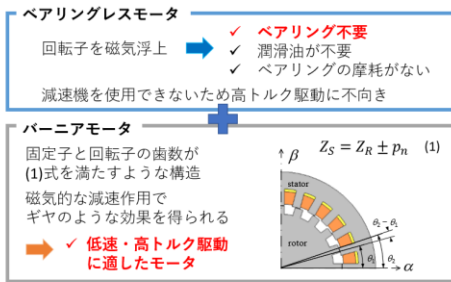
- 摩擦でエネルギーを損なう
- 潤滑油で周囲が汚れる
- 摩擦のため寿命が短くなる

ベアリングレスモータ

- ベアリングがないため
- 摩擦がない！
- 潤滑油がいらぬ！
- 部品が摩耗しない！
- エネルギーの損失がない！



本研究の独自性



ベアリングレスパーニアモータの提案

提案モータの産業応用

ベアリングによる制約のためこれまで応用が困難だった分野での高トルクモータとしての活躍が見込める

高洗浄度環境

- ✓ 半導体製造工場のロボットアーム
- ✓ 医療現場で使用される各種ポンプ

摩耗粉が生じない・潤滑油が不要なため清潔さが求められる現場に应用可能！

高真空環境

- ✓ 人工衛星のリアクションホイール
- ✓ 研究用真空チャンバー内での利用

真空環境では潤滑油が使えないがベアリングレスモータなら潤滑油不要で真空にも対応できる！



8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 東京都市大学 工学部 計測電機制御研究室

(トウキョウトシダイガク ケイソクデンキセイギョケンキュウシツ)

住所： 〒158-8557

東京都世田谷区玉堤 1-28-1

申請者： 講師・土方規実雄 (ヒジカタ キミオ)

担当部署： 工学部 機械システム工学科

E-mail: khijikat@tcu.ac.jp

URL: <http://www.eml.mse.tcu.ac.jp/>